

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-150374

(43)Date of publication of application : 05.06.2001

(51)Int.Cl.

B25J 13/00  
B25J 5/00

(21)Application number : 11-334504

(71)Applicant : SONY CORP

(22)Date of filing : 25.11.1999

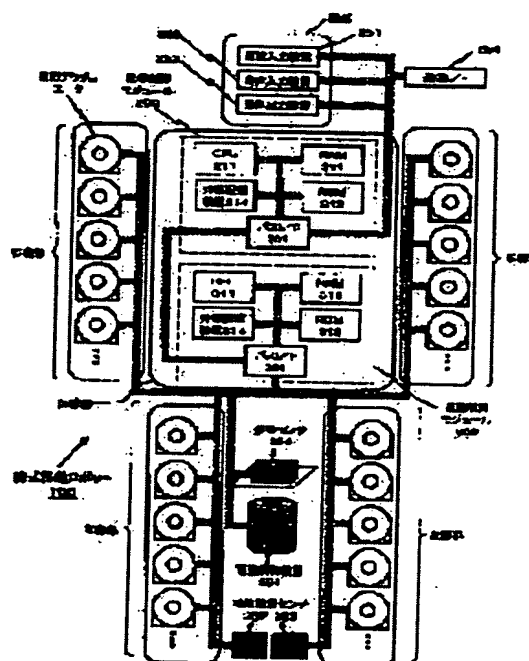
(72)Inventor : KUROKI YOSHIHIRO

## (54) FAILURE DIAGNOSTIC SYSTEM FOR ROBOT

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a failure diagnostic system capable of self-diagnosing the failure and abnormality in the system, and feeding back a result of diagnosis to a user.

**SOLUTION:** The voice input from a user is interpreted/recognized in a command recognition part, and the requirement of diagnosis is informed to a self-diagnosing part. The user can input the command for inspiring the self-diagnosis by means of the ordinary conversation such as 'Please perform the self-diagnosis', 'Robot how are you going on?' or the like. On the other hand, the robot can express the result of the self-diagnosis by means of the ordinary conversation such as 'Something is wrong', 'I feel bad', 'I have footsore', 'I am hungry' or the like.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2001-150374  
(P2001-150374A)

(43) 公開日 平成13年6月5日 (2001.6.5)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

B 2 5 J 13/00  
5/00

F I

B 2 5 J 13/00  
5/00

テーマコード(参考)

Z 3 F 0 5 9  
F

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願平11-334504

(22) 出願日 平成11年11月25日 (1999. 11. 25)

(71) 出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号

(72) 発明者 黒木 義博

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号 ソニ  
ー株式会社内

(74) 代理人 100101801

弁理士 山田 英治 (外 2 名)

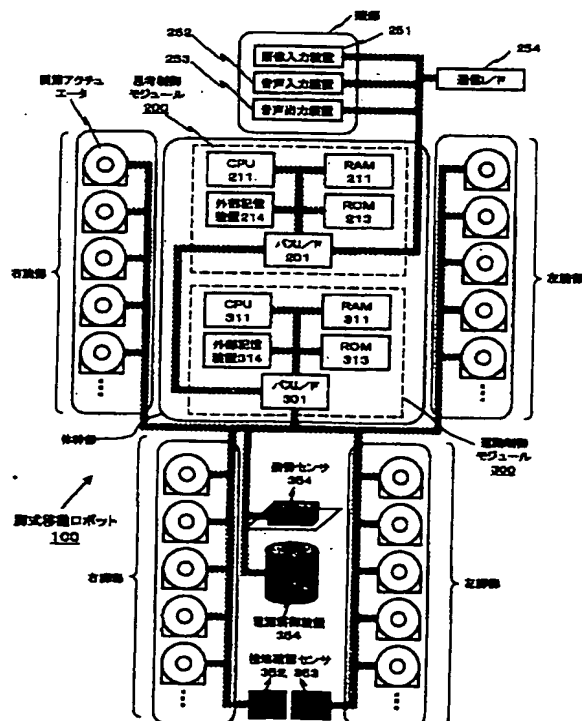
F ターム(参考) 3F059 BB06 CA07 DA09 DB05 DC00  
DC01 DC04 DD01 FC00

(54) 【発明の名称】 ロボットの故障診断システム

(57) 【要約】

【課題】 システム内の故障や異常などを自己診断するとともに、診断結果をユーザにフィードバックする。

【解決手段】 ユーザから入力された音声コマンド認識部において解釈・認識され、診断要求が自己診断部に通知される。例えば、ユーザは、「自己診断しなさい」や「(ロボットよ、) 調子はどうだい?」などのような自然な会話形式で自己診断を促すコマンドを入力することができる。これに対し、ロボットは、「調子良くないよ」や「気分が悪い」、「脚が痛い」、「お腹が空いた」などのような自然な会話形式で自己診断結果を表出することができる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】複数の関節アクチュエータで構成されるロボットの故障診断システムであって、故障診断要求を入力する要求入力手段と、ロボットの内部状態を計測する計測手段と、前記要求入力手段に故障診断要求が入力されたことに応答して、ロボットの故障診断を実行する診断手段と、前記診断手段による診断結果を外部に出力する診断結果出力手段と、を具備することを特徴とするロボットの故障診断システム。

【請求項 2】前記要求入力手段は音声による要求を受容することを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

【請求項 3】前記要求入力手段は外部システムからの要求を通信インターフェース経由で受容することを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

【請求項 4】前記計測手段は前記関節アクチュエータの関節角度を計測するエンコーダを含み、前記診断手段は、前記関節アクチュエータに対して指示された目標関節角度と前記エンコーダが出力する現関節角度との偏差に基づいて故障診断を行う、ことを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

【請求項 5】前記計測手段は前記関節アクチュエータ内の温度を計測する温度センサを含み、前記診断手段は、前記温度センサによる計測温度が規定値を越えたときに前記関節アクチュエータが故障していると判断する、ことを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

【請求項 6】前記ロボットはバッテリー駆動式であり、前記計測手段は前記バッテリーの端子電圧、若しくは、バッテリーから各部へ供給される電源電圧を計測する電源電圧検出部を含み、前記診断手段は、前記電源電圧検出部の検出電圧が規定値を外れたときに電源異常と判断する、ことを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

【請求項 7】前記計測手段は、前記ロボットのピッチ軸、ロール軸、又はヨー軸のうち少なくとも 1 つの方位角度を検出する姿勢センサを含み、

前記診断手段は、前記姿勢センサが検出した方位角度が規定値を外れたときに姿勢異常と判断する、ことを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

【請求項 8】前記計測手段は画像入力装置を含み、前記診断手段は、前記画像入力手段による入力画像の認識結果を基に診断する、ことを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

【請求項 9】前記計測手段は画像入力装置を含み、前記診断手段は、前記画像入力手段による入力画像から認識された物体情報を基に診断する、ことを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

【請求項 10】前記計測手段は画像入力装置を含み、

前記診断手段は、前記画像入力手段による入力画像から認識された色情報を基に診断する、ことを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

【請求項 11】前記計測手段は接触センサ又は力センサの少なくとも一方を含み、

前記診断手段は、前記接触センサ又は力センサの出力が規定値を越えたときに異常と判断する、ことを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

【請求項 12】前記診断結果出力手段は、診断結果を音声出力することを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

【請求項 13】前記診断結果出力手段は、診断結果を通信インターフェース経由で外部システムに供給することを特徴とする請求項 1 に記載のロボットの故障診断システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、生体のメカニズムや動作をモデル化して構成されるリアリスティックなロボットに係り、特に、ヒトやサルなどの脚式移動型動物の身体メカニズムをモデル化した脚式移動ロボットに関する。

【0002】更に詳しくは、本発明は、制御系を機上に搭載して自律的な駆動を行うことができる脚式移動型ロボットの制御システムに係り、特に、システム内の故障や異常などを自己診断するとともに、診断結果をユーザにフィードバックすることができる脚式移動型ロボットの制御システムに関する。

## 【0003】

【従来の技術】電気的若しくは磁気的な作用を用いて人間の動作に似せた運動を行う機械装置のことを「ロボット」という。ロボットの語源は、スラブ語の ROBOT A（奴隷機械）に由来すると言われている。わが国では、ロボットが普及し始めたのは 1960 年代末からであるが、その多くは、工場における生産作業の自動化・無人化などを目的としたマニピュレータや搬送ロボットなどの産業用ロボット（industrial robot）であった。

【0004】最近では、ヒトやサルなどの 2 足直立歩行を行う動物の身体メカニズムや動作を模した脚式移動ロボットに関する研究開発が進展し、実用化への期待も高まってきている。2 足直立による脚式移動は、クローラ式移動や、4 足歩行又は 6 足式歩行などに比し不安定で姿勢制御や歩行制御が難しくなるが、柔軟な移動作業を実現できるという点で優れている。すなわち、2 足による脚式移動によれば、不整地や作業経路上に障害物や凹凸のある床面上の歩行、あるいは、階段や梯子の昇降など不連続な歩行面上の歩行などを、好適に行うことができる。

【0005】ヒトの生体メカニズムや動作をエミュレー

トした脚式移動ロボットのことを、特に、「人間形」、若しくは「人間型」のロボット(humanoid robot)と呼ぶ。人間形若しくは人間型と呼ばれる脚式移動ロボットを研究・開発する意義を、例えば以下の2つの視点から把握することができよう。

【0006】1つは、人間科学的な視点である。すなわち、人間の下肢及び／又は上肢に似た構造のロボットを作り、その制御方法を考案して、人間の歩行動作をシミュレートするというプロセスを通じて、歩行を始めとする人間の自然な動作のメカニズムを工学的に解明することができる。このような研究成果は、人間工学、リハビリテーション工学、あるいはスポーツ科学など、人間の運動メカニズムを扱う他のさまざまな研究分野の進展に大いに還元することができるであろう。

【0007】もう1つは、人間のパートナーとして生活を支援する、すなわち住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動の支援を行うロボットの開発である。この種のロボットは、人間の生活環境のさまざまな局面において、人間から教わりながら個々に個性の相違する人間又は環境への適応方法を学習し、機能面でさらに成長していく必要がある。このとき、ロボットが「人間形」すなわち人間と同じ形又は同じ構造をしている方が、人間とロボットとのスムーズなコミュニケーションを行う上で有効に機能するものと考えられる。

【0008】例えば、踏んではならない障害物を避けながら部屋を通り抜ける方法を実地においてロボットに教示するような場合、クローラ式や4足式ロボットのように教える相手が自分と全く違う構造をしているよりも、同じような格好をしている2足歩行ロボットの方がユーザ(作業員)ははるかに教え易く、またロボットにとっても教わり易い筈である(例えば、高西著「2足歩行ロボットのコントロール」(自動車技術会関東支部<高塑>No. 25, 1996 APRIL)を参照のこと)。

【0009】人間の作業空間や居住空間のほとんどは、2足による直立歩行という人間が持つ身体メカニズムや行動様式に合わせて形成されている。言い換えれば、人間の住空間は、車輪その他の駆動装置を移動手段とした現状の機械システムが移動するのにはあまりに多くの障壁が存在する。機械システムすなわちロボットが様々な人的作業を支援又は代行し、さらに人間の住空間に深く浸透していくためには、ロボットの移動可能範囲が人間のそれとほぼ同じであることが好ましい。これが、脚式移動ロボットの実用化が大いに期待されている所以でもある。人間型の形態を有していることは、ロボットが人間の住環境との親和性を高める上で必須であると言える。

【0010】人間型ロボットの用途の1つとして、産業活動・生産活動等における各種の難作業の代行が挙げられる。例えば、原子力発電プラントや火力発電プラント、石油化学プラントにおけるメンテナンス作業、製造

工場における部品の搬送・組立作業、高層ビルにおける清掃、火災現場その他における救助といったような危険作業・難作業の代行である。

【0011】また、人間型ロボットの他の用途として、人間と居住空間を同一にする「共生」若しくは「エンターテインメント」と呼ばれるものである。この種の用途では、ロボットは、作業代行などの生活支援というよりも、生活密着という性格が濃厚である。

【0012】エンターテインメント指向のロボットは、産業上の特定用途を高速・高精度に実現することよりも、作業期間中に実行する動作パターンそのものが研究・開発上の主題となる。すなわち、ヒトやサルなどの2足の直立歩行を行う動物が本来持つ全身協調型の動作メカニズムを忠実に再現し、その自然に円滑な動作を実現することが好ましいとされる。また、ヒトやサルなどの知性の高い直立動物をエミュレートする以上、四肢を用いた動作パターンが生体として自然であり、且つ、動作が持つ表現力がより豊かであることが望ましい。

【0013】さらに、エンターテインメント型のロボットは、予め入力された動作パターンを単に忠実に実行するだけではなく、相手の言葉や態度(「褒める」とか「叱る」、「叩く」など)に呼応した、生き生きとした動作表現を実現することも要求される。この意味において、ヒトを模したエンターテインメント指向の人間型ロボットは、まさに「人間型」のロボットと呼ぶに相応しい。

【0014】従来の玩具機械は、ユーザ操作と応答動作との関係が固定・画一的であり、同じ動作しか繰り返さないもので、ユーザはやがて飽きてしまうことになる。これに対し、エンターテインメント型のロボットは、動作生成の時系列モデルに従って動作を実行するが、ユーザ操作などの外部からの刺激を検出したことに応答してこの時系列モデルを変更する、すなわち学習効果を付与することができる。この結果、ユーザ操作と応答動作との関係はプログラマブルとなり、ユーザにとって飽きない、あるいは、ユーザの好みに適応した動作パターンを提供することができる。また、ユーザは、ロボットの操作を通して、一種の育成シミュレーションを楽しむことができる。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】脚式移動ロボットの作業空間は非限定的であり、所定の経路上または無経路上を自在に移動して、所定の若しくは任意の作業を代行したり、ヒトやイヌその他の生命体に置き換わる種々のサービスを提供する。

【0016】また、脚式移動ロボットは、工業製品である以上、故障や異常を最大限に排除した形でユーザに提供され利用に狭されなければならない。とはいえ、出荷する全製品に対して異常がないことを保証することは不可能である。また、ユーザが使用を重ねて部品が摩耗し

たり、経時変化による劣化・老朽化などにより、製品が故障してしまうことは不可避である。さらに、複雑な姿勢制御を要求される脚式移動ロボットにおいては、思考制御や運動制御を繰り返し実行している間、システムが異常処理を発生したりすることも予想されよう。

【0017】ユーザは、製品に故障や異常を発見したときには、修理・補修などのメンテナンスを行う必要がある。このとき、自律駆動するロボットが、ユーザの指令に応じて、あるいは自らの意思で故障を診断したり、さらに故障した場所を教えてくれれば便利である。特に、人間型ロボットは、「人間らしさ」を持つ有能なユーザ・インターフェースをそなえているので、ユーザの極自然な問いかけを介して故障診断の指示を受信し、且つ、ユーザに対して診断結果を人間らしいアクションで分かり易く教えてくれることが期待される。

【0018】また、移動ロボットの場合、システム上で発生した故障や異常によって、ロボットが暴走してユーザ（作業員）に突進するなど、二次的な災害を引き起こしかねない。したがって、ロボットが、早期に且つ自律的に故障や異常の発生を通知してくれることが好ましい。

【0019】本発明の目的は、制御系を機上に搭載して自律的な駆動を行うことができる、優れた脚式移動型ロボットの制御システムを提供することにある。

【0020】本発明の更なる目的は、システム内の故障や異常などを自己診断するとともに、診断結果をユーザにフィードバックすることができる、優れた脚式移動型ロボットの制御システムを提供することにある。

【0021】本発明の更なる目的は、「人間らしさ」を持つ有能なユーザ・インターフェースを介して故障診断の指示を受信し、且つ、ユーザに対して診断結果を分かり易く教えることができる人間型ロボットを提供することにある。

【0022】本発明の更なる目的は、早期に且つ自律的に故障や異常の発生を通知してくれる移動ロボットを提供することにある。

【0023】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を参酌してなされたものであり、複数の関節アクチュエータで構成されるロボットの故障診断システムであって、故障診断要求を入力する要求入力手段と、ロボットの内部状態を計測する計測手段と、前記要求入力手段に故障診断要求が入力されたことに応答して、ロボットの故障診断を実行する診断手段と、前記診断手段による診断結果を外部に出力する診断結果出力手段と、を具備することを特徴とするロボットの故障診断システムである。

【0024】ここで、前記要求入力手段は音声による要求を受容してもよい。あるいは、前記要求入力手段は外部システムからの要求を通信インターフェース経由で受容するようにしてもよい。

【0025】また、前記計測手段は前記関節アクチュエータの関節角度を計測するエンコーダを含み、前記診断手段は、前記関節アクチュエータに対して指示された目標関節角度と前記エンコーダが出力する現関節角度との偏差に基づいて故障診断を行うようにしてもよい。

【0026】また、前記計測手段は前記関節アクチュエータ内の温度を計測する温度センサを含み、前記診断手段は、前記温度センサによる計測温度が規定値を越えたときに前記関節アクチュエータが故障していると判断するようにしてもよい。

【0027】また、前記ロボットはバッテリー駆動式であってもよい。このような場合には、前記計測手段は前記バッテリーの端子電圧、若しくは、バッテリーから各部へ供給される電源電圧を計測する電源電圧検出部を含み、前記診断手段は、前記電源電圧検出部の検出電圧が規定値を外れたときに電源異常と判断するようにしてもよい。

【0028】また、前記計測手段は、前記ロボットのピッチ軸、ロール軸、又はヨー軸のうち少なくとも1つの方位角度を検出する姿勢センサを含み、前記診断手段は、前記姿勢センサが検出した方位角度が規定値を外れたときに姿勢異常と判断するようにしてもよい。

【0029】また、前記計測手段は画像入力装置を含み、前記診断手段は、前記画像入力手段による入力画像の認識結果を基に診断するようにしてもよい。あるいは、前記診断手段は、前記画像入力手段による入力画像から認識された物体情報や色情報を基に診断するようにしてもよい。

【0030】また、前記計測手段は接触センサ又は力センサの少なくとも一方を含み、前記診断手段は、前記接触センサ又は力センサの出力が規定値を越えたときに異常と判断するようにしてもよい。

【0031】また、前記診断結果出力手段は、診断結果を音声出力するようにしてもよい。

【0032】あるいは、前記診断結果出力手段は、診断結果を通信インターフェース経由で外部システムに供給するようにしてもよい。

【0033】

【作用】本発明に係るロボットは、システム内の故障や異常などを自己診断するとともに、診断結果をユーザにフィードバックすることができる。

【0034】また、本発明に係るロボットは、人間の聴覚に相当する音声入力装置を介した音声入力によって診断要求を受容することができるし、また、診断結果を音声出力によって表出することができる。すなわち、ロボットが本来的に備える「人間らしい」ユーザ・インターフェースを介して故障診断の指示を受信し、且つ、ユーザに対して診断結果を分かり易く教えてくれる訳である。

【0035】本発明のさらに他の目的、特徴や利点は、後述する本発明の実施例や添付する図面に基づくより詳

細な説明によって明らかになるであろう。

#### 【0036】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施例を詳解する。

【0037】図1及び図2には本発明の実施に供される「人間形」又は「人間型」の脚式移動ロボット100が直立している様子を前方及び後方の各々から眺望した様子を示している。図示の通り、脚式移動ロボット100は、脚式移動を行う左右2足の下肢と、体幹部と、左右の上肢と、頭部とで構成される。

【0038】左右各々の下肢は、大腿部と、膝関節と、脛部と、足首と、足平とで構成され、股関節によって体幹部の略最下端にて連結されている。また、左右各々の上肢は、上腕と、肘関節と、前腕とで構成され、肩関節によって体幹部上方の左右各側縁にて連結されている。また、頭部は、首関節によって体幹部の略最上端中央に連結されている。

【0039】体幹部ユニット内には、図1及び図2上では見えていない制御部が配備されている。この制御部は、脚式移動ロボット100を構成する各関節アクチュエータの駆動制御や各センサ（後述）などからの外部入力処理するコントローラ（主制御部）や、電源回路その他の周辺機器類を搭載した筐体である。制御部は、その他、遠隔操作用の通信インターフェースや通信装置を含んでいてもよい。但し、本発明では、制御部の設置場所は特に限定されない。

【0040】図3には、本実施例に係る脚式移動ロボット100が具備する関節自由度構成を模式的に示している。図示の通り、脚式移動ロボット100は、2本の腕部と頭部1を含む上体と、移動動作を実現する2本の脚部からなる下肢と、上肢と下肢とを連結する体幹部とで構成される。

【0041】頭部1を支持する首関節は、首関節ヨー軸2と、首関節ピッチ軸3と、首関節ロール軸4という3自由度を有している。

【0042】また、各腕部は、肩関節ピッチ軸8と、肩関節ロール軸9と、上腕ヨー軸10と、肘関節ピッチ軸11と、前腕ヨー軸12と、手首関節ピッチ軸13と、手首関節ロール軸14と、手部15とで構成される。手部15は、実際には、複数本の指を含む多関節・多自由度構造体である。但し、手部15の動作自体は、ロボット100の姿勢安定制御や歩行動作制御に対する寄与や影響が少ないので、本明細書ではゼロ自由度と仮定する。したがって、左右の各腕部は7自由度を有するとする。

【0043】また、体幹部は、体幹ピッチ軸5と、体幹ロール軸6と、体幹ヨー軸7という3自由度を有する。

【0044】また、下肢を構成する左右各々の脚部は、股関節ヨー軸16と、股関節ピッチ軸17と、股関節ロール軸18と、膝関節ピッチ軸19と、足首関節ピッチ

軸20と、関節ロール軸21と、足部（足底）22とで構成される。股関節ピッチ軸17と股関節ロール軸18の交点は、本実施例に係るロボット100の股関節位置を定義するものとする。人体の足部（足底）22は、実際には多関節・多自由度の足底を含んだ構造体であるが、本実施例に係る脚式移動ロボット100の足底はゼロ自由度とする。したがって、左右の各脚部は6自由度で構成される。

【0045】以上を総括すれば、本実施例に係る脚式移動ロボット100全体としては、合計で $3+7\times 2+3+6\times 2=32$ 自由度を有することになる。但し、脚式移動ロボット100が必ずしも32自由度に限定される訳ではない。設計・製作上の制約条件や要求仕様等に応じて、自由度すなわち関節数を適宜増減することができることは言うまでもない。

【0046】脚式移動ロボット100が持つ上述の各関節自由度は、実際にはアクチュエータを用いて実装される。外観上で余分な膨らみを排してヒトの自然体形状に近似させること、2足歩行という不安定構造体に対して姿勢制御を行うことなどの要請から、アクチュエータは小型且つ軽量であることが好ましい。本実施例では、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニットに内蔵したタイプの小型ACサーボ・アクチュエータを搭載することとした。なお、この種のACサーボ・アクチュエータに関しては、例えば本出願人に既に譲渡されている特願平11-33386号明細書に開示されている。

【0047】図4には、本実施例に係る脚式移動ロボット100の制御システム構成を模式的に示している。同図に示すように、該システムは、ユーザ入力などに動的に反応して情緒判断や感情表現を司る思考制御モジュール200と、関節アクチュエータの駆動などロボットの全身協調運動を制御する運動制御モジュール300とで構成される。

【0048】思考制御モジュール200は、情緒判断や感情表現に関する演算処理を実行するCPU（Central Processing Unit）211や、RAM（Random Access Memory）212、ROM（Read Only Memory）213、及び、外部記憶装置（ハード・ディスク・ドライブなど）214で構成される、自己完結処理を行うことができる独立した情報処理装置である。

【0049】思考制御モジュール200には、CCD（Charge Coupled Device）カメラなど視覚センサとしての画像入力装置251や、マイククロフォンなど聴覚センサとしての音声入力装置252、スピーカなどの音声出力装置253、LAN（Local Area Network：図示しない）などを経由してロボット100外のシステムとデータ交換を行う通信インターフェース254など各種の装置が、バ

ス・インターフェース 201 経由で接続されている。

【0050】思考制御モジュール 200 では、画像入力装置 251 から入力される視覚データや音声入力装置 252 から入力される聴覚データなど、外界からの刺激などに従って、脚式移動ロボット 100 の現在の感情や意思を決定する。さらに、意思決定に基づいた振舞い又は行動、すなわち四肢の運動を実行するように、運動制御モジュール 300 に対して指令を発行する。

【0051】一方の運動制御モジュール 300 は、ロボット 100 の全身協調運動を制御する CPU (Central Processing Unit) 311 や、RAM (Random Access Memory) 312、ROM (Read Only Memory) 313、及び、外部記憶装置 (ハード・ディスク・ドライブなど) 314 で構成される、自己完結処理を行うことができる独立した情報処理装置である。

【0052】運動制御モジュール 300 には、全身に分散するそれぞれの関節自由度 (図 3 を参照のこと) を実現する関節アクチュエータ、体幹部の姿勢や傾斜を計測する姿勢センサ 351、左右の足底の離床又は着床を検出する接地確認センサ 352 及び 353、駆動用バッテリーなどの電源を管理する電源制御装置などの各種の装置が、バス・インターフェース 301 経由で接続されている。

【0053】運動制御モジュール 300 の CPU 311 は、思考制御モジュール 200 から指示された行動を体现すべく、各関節アクチュエータによる全身協調運動を制御する。

【0054】すなわち、CPU 311 は、思考制御モジュール 200 から指示された行動に応じた動作パターンを外部記憶装置 314 から取り出し、又は、内部的に動作パターンを生成する。そして、CPU 311 は、指定された動作パターンに従って、足部運動、ZMP (Zero Moment Point) 軌道、体幹運動、上肢運動、腰部水平位置及び高さなどを設定するとともに、これらの設定内容に従った動作パターンを実現するための指令値を各関節アクチュエータに転送する。

【0055】また、CPU 311 は、姿勢センサ 351 の出力信号によりロボット 100 の体幹部分の姿勢や傾きを検出するとともに、各接地確認センサ 352 及び 353 の出力信号により各可動脚が遊脚又は立脚のいずれの状態であるかを検出することによって、脚式移動ロボット 100 の全身協調運動を適応的に制御することができる。

【0056】さらに、運動制御モジュール 300 は、思考制御モジュール 200 において決定された意思通りの行動がどの程度進行したか、すなわち処理の状況を、思考制御モジュール 200 に返すようになっている。

【0057】なお、本明細書で言う「ZMP」とは、歩行中の床反力によるモーメントがゼロとなる床面上の点

のことであり、また、「ZMP 軌道」とは、例えばロボット 100 の歩行動作期間中などに ZMP が動く軌跡を意味する。

【0058】思考制御モジュール 200 と運動制御モジュール 300 は、共通のプラットフォーム上で構築され、両者間はバス・インターフェース 201 及び 301 を介して相互接続されている。

【0059】図 5 には、脚式移動ロボット 100 内において、思考制御モジュール 200 及び運動制御モジュール 300 の間で相互に行われるデータ転送の様子を図解している。

【0060】思考制御モジュール 200 は、画像入力装置 251 において捕捉される画像データを視覚データとして取り込むとともに、音声入力装置 252 において入力される音声データを視覚データとして取り込み、これら外界からの刺激などに従って、脚式移動ロボット 100 の現在の感情や意思を決定する。

【0061】また、思考制御モジュール 200 は、脚式移動ロボット 100 に対して直接入力される外界の刺激に応じて意思決定する以外に、通信インターフェース 254 経由で外部システムから送信されてきたコマンドやデータに従って、脚式移動ロボット 100 の現在の感情や意思を決定することもできる。後者の場合、遠隔地に所在するユーザが、五感や感情などに関するデータをネットワーク経由でロボット 100 に供給したり、コマンドを送信して所定の意思決定を促すことができる。

【0062】この他、運動制御モジュール 300 において使用する動作パターン・データを、ネットワーク上のサーバ (図示しない) から通信インターフェース 254 経由でロボット 100 内にダウンロードすることもできる。

【0063】思考制御モジュール 200 は、意思決定に基づいた振舞い又は行動、すなわち四肢の運動を実行するように、運動制御モジュール 300 に対して指令を発行する。また、運動制御モジュール 300 からは、指示した行動がどの程度体现されたか、すなわち処理状況が戻される。

【0064】また、思考制御モジュール 200 は、自己が決定した意思に従った運動制御を促すだけでなく、決定した意思や感情を表現した音声データを音声出力装置 253 から出力することができる。

【0065】思考制御モジュール 200 は、さらに自己診断機能部を有する。この自己診断機能部は、運動制御モジュール 300 側との通信内容に基づいて運動制御モジュール 300 が異常又は故障を発生しているか否かを判定することができる。具体的には、以下に示す事態において異常と判定するようになっている。

【0066】(1) 思考制御モジュール 200 が発行した意思決定とは無関係の処理状況が運動制御モジュール 300 から返された。



(2) 意思決定を発行してから所定時間内に運動制御モジュール300が該決定に従った処理状況を返さなかった。

(3) 運動制御モジュール300が意味不明の処理状況を返した。

【0067】一方の運動制御モジュール300では、思考制御モジュール200から指示された行動を体現すべく、各関節アクチュエータを同期駆動することによって全身協調運動を制御する。すなわち、該当する指定された動作パターンに従って、足部運動、ZMP (Zero Moment Point) 軌道、体幹運動、上肢運動、腰部水平位置及び高さなどを設定するとともに、これらの設定内容に従った動作パターンを実現するための指令値を各関節アクチュエータに転送する。

【0068】各関節アクチュエータに付設されたエンコーダからは、各関節の回転角度データが戻される。この結果、運動制御モジュール300は、各関節の実際の変位量や変位速度を把握することができる。さらに、関節の変位角度と各アーム長などの幾何データを所定の幾何演算処理に投じることで、脚式移動ロボット100が実際に行った全身運動パターンを算出することができる。

【0069】さらに、運動制御モジュール300には、姿勢センサ351や左右足底の接地確認センサ352及び353の検出信号が入力される。これら検出信号や算出された実際の動作パターンなどを基に、脚式移動ロボット100の全身協調運動を適応的に制御することができる。

【0070】図4には図示しなかったが、脚式移動ロボット100の所定部位に力センサ355や接触センサ356、温度センサ357などをさらに配備してもよい。運動制御モジュール300は、これらのセンサから取り込まれる力覚データ、触覚データ、温度データを適応制御のために活用することができる。

【0071】運動制御モジュール300は、さらに、自己診断機能部を有する。この事故診断機能部は、思考制御モジュール200側との通信内容に基づいて思考制御モジュール200が異常又は故障を発生しているか否かを判定することができる。具体的には、以下に示す事象において異常と判定するようになっている。

【0072】(1) 思考制御モジュールから所定の状態繊維規則に反した順序で意思決定を受け取った。

(2) 思考制御モジュールが所定の状態遷移規則上で意味不明の意思決定を指示した。

【0073】図5に示すように、思考制御モジュール200と運動制御モジュール300の間には、運動制御モジュール停止信号と思考制御モジュール・リセット信号という各ハードウェア制御信号線が設けられている。これら制御信号線は、一方の制御モジュールが他方の制御モジュールの異常処理を発見したときに用いられるが、この点は後述に譲る。

【0074】図6には、本実施例に係る脚式移動ロボット100が有する自己診断機能を図解している。

【0075】自己診断部は、画像入力装置(視覚センサ)251、各関節アクチュエータのエンコーダ、姿勢センサ351、接地確認センサ352、353、力センサ355、接触センサ356の各々からの検出力や、及び、電源制御装置354からの電源データなどをモニタして、自律的又は外部からの診断要求コマンドに応答する形式で、ロボット100内部の状況を自己診断するようになっている。なお、電源制御部354は、駆動用バッテリーの端子電圧検出部354Aと、バッテリー残容量検出部354Bとで構成される。

【0076】本実施例に係る脚式移動ロボット100は、診断要求コマンドは、音声入力の形式で、又は、ネットワーク経由で外部システム(図示しない)から受信することができる。

【0077】前者の場合、マイクロフォンなどの音声入力装置252においてユーザから入力された音声、コマンド認識部において解釈・認識され、診断要求が自己診断部に通知される。例えば、ユーザは、「自己診断しなさい」や「(ロボットよ、)調子はどうだい?」などのような自然な会話形式で自己診断を促すコマンドをロボット100に入力することができる。

【0078】また、後者の場合には、ネットワーク経由で転送される外部システムからのコマンドが通信インターフェース254において一旦受信された後、コマンド認識部において解釈・認識され、診断要求が自己診断部に通知されるようになっている。ネットワーク上の外部システム(図示しない)は、ロボット操作用のGUI (Graphical User Interface) 画面を提供していてもよい。

【0079】また、本実施例に係る脚式移動ロボット100では、自己診断部によって判定された自己診断結果を、システム外部すなわちユーザに対して表出・教示することができる。この結果、ユーザは診断結果に基づいた対処(例えばロボット100のメンテナンス作業など)を施すことができる。

【0080】自己診断結果の表出・教示は、音声出力の形式で、又は、ネットワーク経由で外部システムに対して送信することができる。

【0081】前者の場合、表出制御部において、診断結果を表現する音声データを生成して、スピーカなどの音声出力装置253において音声出力することによって、ユーザに対して診断結果を表出・教示することができる。例えば、「調子良くないよ」や「気分が悪い」、「脚が痛い」、「お腹が空いた」などのような自然な会話形式で自己診断結果を表出することができる。

【0082】また、後者の場合には、表出制御部において、診断結果を記述したデータ・フレーム(又はパケット)を生成して、通信インターフェース254を介して

ネットワーク上の外部システムに転送されるようになっている。ネットワーク上の外部システム（図示しない）は、診断結果の受信に応答して、診断内容を表示するポップアップ・ウィンドウを出現させたり警告音を発するようにしてもよい。

【0083】自己診断部における診断の結果、例えば思考制御モジュール200に異常を検出した場合には、運動制御モジュール300は、さらに誤った意思決定を受け取ることにより暴走する危険を回避するために、最も安全な状態である「立った状態で停止」する状態に退避する。さらに、運動制御モジュール200は、思考制御モジュール200のリセット信号をイネーブルして、思考制御モジュール200をリセットする。そして、運動制御モジュール200は、思考制御モジュール200が再起動して正常動作を回復するまで待機する。

【0084】また、自己診断部における診断の結果、運動制御モジュール300に異常を検出した場合には、思考制御モジュール200は、運動制御モジュール300の停止信号をイネーブルして、運動制御モジュール300を停止せしめる。この結果、異常動作を継続して関節アクチュエータなどの駆動系が暴走して災害が発生する、という事態を未然に防止することができる。

【0085】次に、自己診断部において実行される自己診断機能について例示しておく。

#### 【0086】(1) 関節角度

関節アクチュエータの各々に指示される目標関節角度指令に対して、駆動位置決め後に各エンコーダからフィードバックされる現在位置情報すなわち関節角度を確認し、目標関節角度との偏差を記録する。その偏差が規定量を越えるような場合には、「位置決め異常」という故障診断結果を発行する。

#### 【0087】(2) 温度計測

各関節アクチュエータ（又は可動率の高い一部の関節アクチュエータ）には温度センサ357が内蔵され、アクチュエータの内部温度を計測している。この温度データを定期的に監視し、その値を逐次記録する。そして、温度値が規定値を越える（あるいは不自然な温度変動を生じた）ような場合には、「温度異常」という故障診断結果を発行する。

#### 【0088】(3) 電源電圧

電源制御装置354は、駆動用バッテリーの電源電圧や、各制御モジュール200、300、各関節アクチュエータに供給される電源電圧を常時監視して、その計測値を逐次記録する。電源電圧が規定値を大幅に逸脱した場合には、「電源電圧異常」という故障診断結果を発行する。電源電圧が規定値を下回るときは、バッテリーの残容量が低下している（放電状態）可能性がある。また、電源電圧が規定値を越えるときは、暴走や制御回路の故障などを招来する恐れがある。

#### 【0089】(4) 通信制御

本実施例において使用される各関節アクチュエータは、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニットに内蔵したタイプの小型ACサーボ・アクチュエータである（前述）。各アクチュエータのサーボ制御系は、上位の運動制御モジュール300と通信を行い、駆動指示値の受信とエンコーダ出力の送信を行う。運動制御モジュール300は、各関節アクチュエータとの通信内容を常に監視しており、異常を検出すると「関節の異常」という故障診断結果を発行する。

#### 【0090】(5) 姿勢

脚式移動ロボット100の体幹部に装備されている姿勢センサ351の出力により、ピッチ軸、ロール軸、及びヨー軸各々の方位角度を計測することができる。通常の歩行動作を行っている期間中に、ピッチ軸、ロール軸、又はヨー軸の少なくとも1つの方位角度が規定値を外れる場合には、「姿勢異常」という故障診断結果を発行する。また、通常の歩行動作以外の動作期間中においても、ピッチ軸、ロール軸、又はヨー軸の方位角度が指令された運動姿勢に対する規定値を外れる場合には、「姿勢異常」という故障診断結果を発行する。

【0091】この他にも、自己診断部は、画像入力装置251や力センサ355、接触センサ356の出力に基づいて故障や異常を検出してもよい。

【0092】例えば、画像入力装置251を視覚センサとして用い、入力画像から認識された物体情報（物体の形状や輪郭・エッジなど）や該物体の色情報を基に診断することができる。

【0093】あるいは、接触センサ又は力センサの出力が規定値を越えたときには、外力が印加されているなどとして、異常と判断することができる。

【0094】〔追補〕以上、特定の実施例を参照しながら、本発明について詳解してきた。しかしながら、本発明の要旨を逸脱しない範囲で当業者が該実施例の修正や代用を成し得ることは自明である。すなわち、例示という形態で本発明を開示してきたのであり、限定的に解釈されるべきではない。本発明の要旨を判断するためには、冒頭に記載した特許請求の範囲の欄を参照すべきである。

#### 【0095】

【発明の効果】以上詳記したように、本発明によれば、制御系を機上に搭載して自律的な駆動を行うことができる、優れた脚式移動型ロボットの制御システムを提供することができる。

【0096】また、本発明によれば、システム内の故障や異常などを自己診断するとともに、診断結果をユーザにフィードバックすることができる、優れた脚式移動型ロボットの制御システムを提供することができる。

【0097】また、本発明によれば、「人間らしさ」を持つ有能なユーザ・インターフェースを介して故障診断の指示を受信し、且つ、ユーザに対して診断結果を分か

り易く教えることができる人間型ロボットを提供することができる。

【0098】また、本発明によれば、早期に且つ自律的に故障や異常の発生を通知してくれる移動ロボットを提供することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施に供される脚式移動ロボット100を前方から眺望した様子を示した図である。

【図2】本発明の実施に供される脚式移動ロボット100を後方から眺望した様子を示した図である。

【図3】本実施例に係る脚式移動ロボット100が具備する自由度構成モデルを模式的に示した図である。

【図4】本実施例に係る脚式移動ロボット100の制御システム構成を模式的に示した図である。

【図5】脚式移動ロボット100内において、思考制御モジュール200及び運動制御モジュール300間で行われるデータ転送の様子を示した図である。

【図6】脚式移動ロボット100が有する自己診断機能を示したブロック図である。

#### 【符号の説明】

1…頭部、2…首関節ヨー軸  
3…首関節ピッチ軸、4…首関節ロール軸  
5…体幹ピッチ軸、6…体幹ロール軸  
7…体幹ヨー軸、8…肩関節ピッチ軸  
9…肩関節ロール軸、10…上腕ヨー軸  
11…肘関節ピッチ軸、12…前腕ヨー軸  
13…手首関節ピッチ軸、14…手首関節ロール軸  
15…手部、16…股関節ヨー軸

17…股関節ピッチ軸、18…股関節ロール軸

19…膝関節ピッチ軸、20…足首関節ピッチ軸

21…足首関節ロール軸、22…足部（足底）

30…頭部ユニット、40…体幹部ユニット

50…腕部ユニット、51…上腕ユニット

52…肘関節ユニット、53…前腕ユニット

60…脚部ユニット、61…大腿部ユニット

62…膝関節ユニット、63…脛部ユニット

80…制御ユニット、81…主制御部

82…周辺回路

91、92…接地確認センサ

93…姿勢センサ

100…脚式移動ロボット

200…思考制御モジュール

201…バス・インターフェース

211…CPU、212…RAM、213…ROM

214…外部記憶装置

251…画像入力装置（CCDカメラ）

252…音声入力装置（マイク）

253…音声出力装置（スピーカ）

254…通信インターフェース

300…運動制御モジュール

301…バス・インターフェース

311…CPU、312…RAM、313…ROM

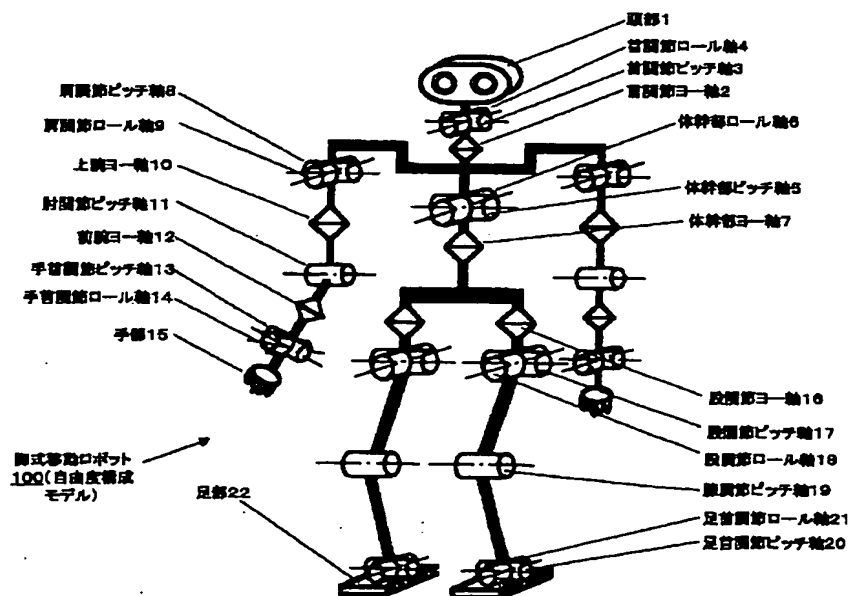
314…外部記憶装置

351…姿勢センサ

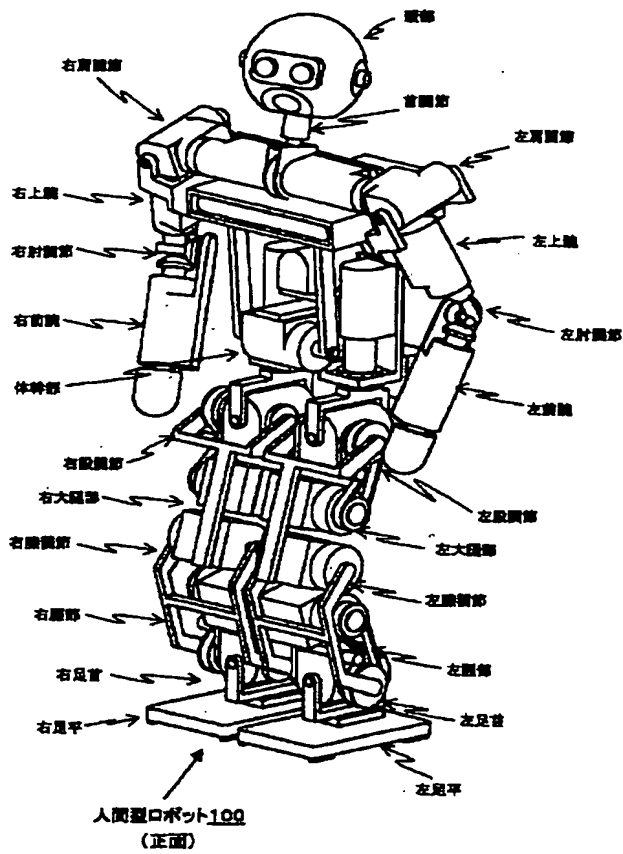
352、353…接地確認センサ

354…電源制御装置

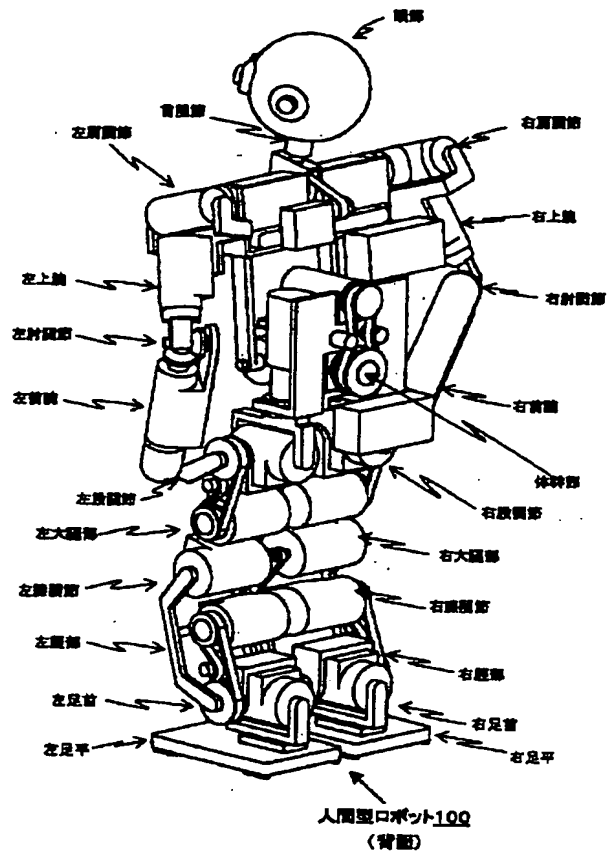
【図3】



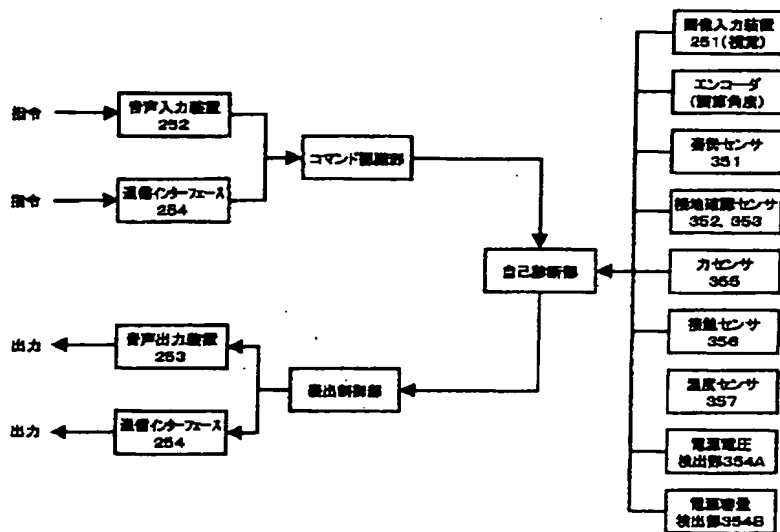
【図1】



【図2】



【図6】



【図 5】

